

高等学校教材

鱼雷活塞发动机原理

赵连峰 编著

西北工业大学出版社

TJ63

Z33

353833

高等学校教材

鱼雷活塞发动机原理

赵连峰 编著



西北工业大学出版社

1991年12月 西安

(陕)新登字第 009 号

【内 容 简 介】 本书系统地介绍鱼雷活塞发动机的工作原理,着重阐述基本概念、基本理论和基本分析计算方法。内容包括引言,鱼雷活塞发动机缸内工作过程、热力计算、主要参数分析、动力推进系统特性分析,卧式、凸轮式和周转斜盘式鱼雷活塞发动机运动学和动力学,以及发动机配气和配气机构。选材突出国内外最新发展和成果。编写注重系统性和便于读者自学。

本书可作为鱼雷热动力装置专业本科生教材,亦可供有关设计、生产、使用等方面工程技术人员参考。

0239/09



责任编辑 胡梦仙
责任校对 常力

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路 127 号)

陕西省新华书店发行

西北工业大学印刷厂印装

ISBN 7-5612-0316-0 / TJ·12(课)

开本 787×1092 毫米 1/16⁺ 18 印张 1 插页 440 千字

1991 年 12 月第 1 版 1991 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1400 册 定价 4.74 元

前 言

《鱼雷活塞发动机原理》是为鱼雷热动力装置专业（本科）编写的教材，它是在原有讲义基础上经增补修订而成的。根据国内外鱼雷活塞发动机的现状和发展，选材以凸轮式和周转斜盘式活塞发动机为主，并简要介绍卧式双缸双作用活塞发动机。本书着重阐明鱼雷活塞发动机的基本概念、基本理论和基本的分析计算方法。

全书分导言和第一至九章。导言对鱼雷动力推进装置及其主机作简要介绍和发展的回顾。第一至四章讲述鱼雷活塞发动机热功转换和热力计算，以及鱼雷动力推进系统的特性分析。第五至七章分别讲述卧式、凸轮式和周转斜盘式鱼雷活塞发动机的运动学和动力学。第八至九章讲述以上三型发动机的配气和滑阀及转阀配气机构。

本书初稿经中国船舶工业总公司第七〇五研究所黄政一同志审阅，提出不少宝贵意见和建议，在此深表感谢。

由于笔者水平所限，书中必然存在不妥之处，恳切希望广大读者批评指正。

编著者

1990年4月

目 录

导 言	1
第一章 鱼雷活塞发动机理论循环和实际过程	15
§ 1-1 活塞发动机常用术语	15
§ 1-2 外燃活塞发动机的理论循环	16
§ 1-3 气缸中实际工作过程和配气参数	20
§ 1-4 示功图	31
第二章 鱼雷活塞发动机热力计算	35
§ 2-1 发动机的动力性和经济性指标	35
§ 2-2 根据理论示功图计算平均指示压强和平均有效压强	42
§ 2-3 发动机工质秒耗量	44
§ 2-4 发动机燃料消耗率	48
§ 2-5 鱼雷活塞发动机的热平衡	49
§ 2-6 鱼雷活塞发动机热力计算	51
第三章 鱼雷活塞发动机主要参数分析	55
§ 3-1 缸径、冲程和气缸数	55
§ 3-2 发动机转速	56
§ 3-3 配气参数	58
§ 3-4 气缸进气压强和温度	64
§ 3-5 气缸排气压强和温度	68
第四章 鱼雷、发动机、螺旋桨稳定工况配合特性	74
§ 4-1 雷、机、桨工况配合概述	74
§ 4-2 鱼雷阻力特性和螺旋桨推进特性	75
§ 4-3 发动机速度特性和深度特性	77
§ 4-4 雷、机、桨稳定工况配合特性计算	81
第五章 卧式活塞发动机动力学	89
§ 5-1 曲柄连杆机构运动学	89
§ 5-2 曲柄连杆机构的惯性力	95
§ 5-3 $p-\varphi$ 示功图和作用于活塞滑枕部件的气体力	98

§ 5-4	曲柄连杆机构受力分析	103
§ 5-5	连杆轴承和曲轴主轴承的负荷	107
§ 5-6	发动机总切向力和总转矩	112
§ 5-7	活塞发动机惯性力平衡简介	114
§ 5-8	鱼雷卧式发动机惯性力和反作用力矩的平衡	118
第六章	凸轮式活塞发动机动力学	121
§ 6-1	凸轮式活塞发动机简介	121
§ 6-2	气缸中活塞往复运动规律的选择	128
§ 6-3	凸轮工作曲面方程及与滚轮的接触线	139
§ 6-4	凸轮工作曲面的曲率半径	147
§ 6-5	滚轮对凸轮工作曲面的相对滑动	150
§ 6-6	活塞部件的运动及其惯性力	154
§ 6-7	凸轮式活塞发动机的平衡	162
§ 6-8	作用于活塞部件的力	164
§ 6-9	圆柱凸轮和发动机内轴受力分析	172
§ 6-10	发动机缸体和外轴受力分析	178
§ 6-11	内、外轴的平均转矩和发动机功率	180
第七章	周转斜盘活塞发动机动力学	182
§ 7-1	周转斜盘活塞发动机简介	182
§ 7-2	功率传动机构的自由度和基本结构参数	187
§ 7-3	基本参考系及其坐标变换	189
§ 7-4	周转斜盘、连杆和活塞的运动	191
§ 7-5	槽形凸轮滚轮机构运动分析	200
§ 7-6	活塞和连杆的惯性力	207
§ 7-7	周转斜盘惯性力	215
§ 7-8	斜轴惯性力和发动机平衡	221
§ 7-9	连杆和活塞受力分析	225
§ 7-10	周转斜盘及其轴承的负荷	232
§ 7-11	内、外轴的载荷与转矩	241
第八章	滑阀配气	247
§ 8-1	滑阀配气机构及其工作原理	247
§ 8-2	滑阀配气图	252
§ 8-3	滑阀结构参数和安装误差对气缸配气参数的影响	259
§ 8-4	偏心轮与曲柄反向旋转的滑阀配气	261
§ 8-5	内进气圆筒滑阀配气计算	262

第九章 转阀配气	267
§ 9-1 转阀配气机构及其工作原理	267
§ 9-2 配气参数与配气角的关系	271
§ 9-3 转阀配气设计计算	272
§ 9-4 转阀配气近似计算法	276
参考文献	278

导 言

一、鱼雷动力推进装置的功用、组成和特点

鱼雷是用以攻击、摧毁潜艇和水面舰船的重要海战武器。鱼雷动力推进装置是鱼雷的主要组成部分之一，因为鱼雷必须依靠其动力推进装置方能进行水下航行。动力推进装置的职能是：将鱼雷自身携带的能源转变为推进鱼雷所必需的机械功。任何一条鱼雷，无论从重量或体积的角度来看，动力推进装置在全雷中都占有很大的比例。因此，动力推进装置与鱼雷武器的性能之间有着深刻的、直接或间接的联系，动力推进装置的品质对鱼雷武器战术技术性能产生重大的影响。

鱼雷动力推进装置一般由能源贮备与供应系统、发动机、推进器等部分组成。发动机将鱼雷中贮备的其他形式的能（热能或电能）转变成驱动推进器旋转的机械功，推进器产生鱼雷航行所必需的推力。

鱼雷动力推进装置可分热动力装置和电动力装置两大类。热动力装置的能源是推进剂（又称燃料），利用推进剂燃烧反应释放的热能来做功，故其发动机是热力发动机。电动力装置的能源是动力电池，利用动力电池放电释放的电能来做功，故其发动机是推进电动机。热、电两种动力装置所用的推进器为螺旋桨或泵喷射推进器。使用火箭发动机的喷水鱼雷动力装置和使用水反应推进剂的喷水鱼雷动力装置是热动力装置中的特殊类型，因为发动机工质以很大的动量从位于雷尾的喷管中喷出，从而产生反作用力推动鱼雷前进，所以不再需要推进器。

鱼雷武器具有多方面的战术技术性能指标，其中直接取决于动力推进装置的主要指标有：航速、航程、最大航行深度和无迹性。

外形及尺寸已定的鱼雷，其航速决定于动力推进装置的推进功率，且推进功率 N_p 与鱼雷航速 v_T 之间为三次方关系，即

$$N_p \propto v_T^3$$

因此，若要求鱼雷航速增大1倍，推进功率要增长到8倍。如所周知，海水的密度约为大气密度的800倍。若同一个航行体以相同速度分别在水中和空中航行，则前者的航行阻力和推进功率也将较后者大800倍。所以，在鱼雷所许可的发动机重量和尺寸条件下，对发动机功率的要求极高。例如，口径为324mm、长度约2.6m的小型鱼雷，航速45kn时所需发动机的有效功率约63kW；口径为533.4mm、长度约6m的大型鱼雷，航速50kn时所需发动机的有效功率约372kW。

值得指出，为了使鱼雷能更有效地追踪和命中目标，鱼雷的最大航速应超过目标航速50%以上。70年代末，潜艇的最大水下航速已大于40kn，为了有效地攻击这种新型潜艇，鱼雷的最大航速应达60—70kn。

已定外形和尺寸的鱼雷，在既定的航行速度和航行深度时，鱼雷的航程取决于其能源贮备量和动力推进装置的推进总效率。鱼雷中用来贮备推进剂的容积和推进剂贮备重量都是有

限的。而且因为鱼雷在水中航行，其动力装置不可能像陆用或航空动力装置那样以大气作氧化剂，所以鱼雷除了要自身携带燃烧剂以外，还要携带所需的氧化剂。由此不难理解，鱼雷推进剂不但要求有良好的安全性能和使用性能，而且还要具有尽可能高的能量密度。推进剂的能量密度可用单位体积或单位质量推进剂经燃烧反应释放的理论热量来度量，它们的单位分别是 J/l 和 J/kg ，或 $W \cdot h/l$ 和 $W \cdot h/kg$ 。目前热动力鱼雷使用的奥托-Ⅱ单组元液体推进剂，其能量密度为 $217W \cdot h/l$ 和 $176W \cdot h/kg$ 。由于奥托-Ⅱ本身为贫氧，作为单组元推进剂进行热分解时，化学能不能充分释放，故其能量密度较低。如果以奥托-Ⅱ为燃烧剂、高氯酸羟胺(HAP)为氧化剂、海水为燃气冷却剂，则推进剂的体积能量密度和质量能量密度可以较奥托-Ⅱ单组元推进剂分别提高 66% 和 40%。

为了综合评价热动力鱼雷的推进剂能量特性和发动机热功转换有效性，可以采用动力装置推进剂单位消耗率这一参数。它定义为动力装置在单位时间内发出单位有效功率所需的推进剂质量，其单位是 $kg/(kw \cdot s)$ 。显然，推进剂单位消耗率是动力装置的一项综合性性能指标，其值越小越好，因为对外形和尺寸已定的鱼雷，这就意味着既定航速时有较大的航程，或既定航程时可以有较大的航速。

根据作战舰艇及其武器和装备的现状与发展情况来看，对新研制鱼雷希望的航程是：小型鱼雷达 20km，大型鱼雷达 40km。鱼雷的航程和航速是两个既相互联系而又相互制约的性能指标，它们取决于鱼雷的能源贮备量和动力装置的性能。一般说来，鱼雷航速高则航程短，航速低则航程长。为了能对大型舰艇实施远距离攻击，从而提高发射舰艇的隐蔽性和生存概率，在保证鱼雷对目标舰艇具有一定速度优势的前提下，尽量增大鱼雷航程是有利的。因此，研制具有中等航速、超大航程的新型鱼雷，是大型鱼雷的一个发展方向。例如，航速 40kn 左右，航程达 100km。

最大航行深度是反潜鱼雷的重要性能指标之一。第二次世界大战中，潜艇的安全潜航深度大约为 100m，战后提高到 200m。到 60 年代，出现航深可达 300m 以上的潜艇。70 年代末，最大潜航深度已发展到 800—1 000m。反潜鱼雷的最大航行深度应比潜艇大 200m 以上；因此，对鱼雷最大航深的近期要求是 1 000—1 200m，将来希望能达 1 500m 以上。

由于电动力装置的工作特性不因鱼雷航行深度变化而改变，故电动力鱼雷的最大航行深度仅决定于其壳体的耐外压刚度和强度。而热动力鱼雷则不同，最大航行深度不仅与壳体承受外压的能力有关，且与热动力装置的抗背压工作能力有关。

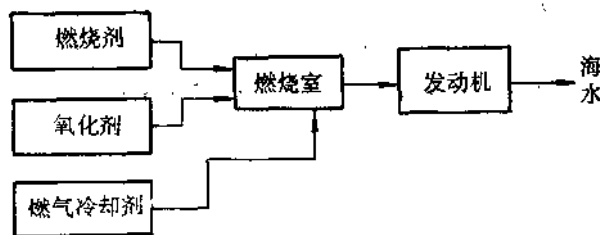


图 0-1

迄今为止，各国热动力鱼雷动力装置均属开式热力循环系统，其原理如图 0-1 所示。输入燃烧室的燃烧剂、氧化剂进行燃烧反应，产生的燃气与输入燃烧室的燃气冷却剂混

合，生成高温高压蒸汽燃气混合气作为发动机的工作介质，工作后的废气经发动机排气系统直接排出雷体。鱼雷航行深度增大时发动机排气背压也随之上升，从而使发动机的功率和效率均相应下降。为使鱼雷保持必须的航速和航程，要求发动机在航深增大时能输出必要的功率，并具有可以接受的效率，因此随航深增加应增大输入燃烧室的推进剂流量，使发动机的进气压强相应增高。国外反潜鱼雷最大航深已发展到 900—1 000m 以上，开式热力循环系统发动机的进气压强已高达 34.5—42MPa。

虽然开式热力循环系统可借助提高发动机进气压强来适应鱼雷增大航深的要求，但是发动机膨胀比(进气与排气压强之比)减小使发动机效率和推进总效率降低，而且过高的进气压强对动力系统各部件在结构强度和密封等方面带来一系列的困难。因此开式热力循环系统的最大工作深度是有限制的，一般说来，航深 1 000—1 200m 已接近其极限。

为了提高鱼雷热动力装置的抗背压工作能力，自 50 年代初期起，国外就开展对半闭式和闭式热力循环系统的研究，使发动机排气压强少受或不受鱼雷航深的影响，以期获得较高的推进总效率。

半闭式热力循环系统主要有两种：一种是保持发动机排气压强基本不变的半闭式系统；另一种是具有独立热源的半闭式系统。前一种的工作原理如图 0—2 所示。

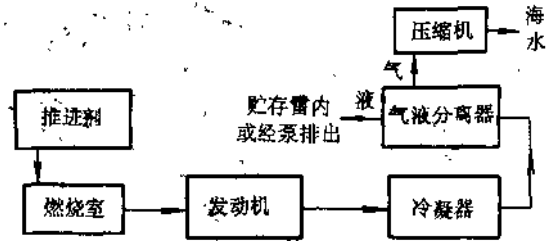


图 0-2

发动机排出的废气经过冷却器，占废气中绝大部分的三原子气体冷凝成液体或溶解于液体，其余气体保持低温气态。然后经液、气分离器将液、气两相物质分开。气相物质经由主机传动的压缩机压缩升压后排出雷体，液相物质可贮存于雷内或用泵挤排到雷外。这种系统的组成较复杂，而且要求推进剂的燃烧产物中含有大量可凝性和易溶性的气体成分。

具有独立热源的半闭式系统工作原理如图 0-3。推进剂燃烧反应释放的热能作为热交换器的热源，释热后的燃气经调压器排到雷外。发动机的工质为水蒸汽或其他易相变气体，且组成独立而封闭的工质回路。在热交换器中，工质由高压常温液相吸热转变成高压高温气相，经发动机做功后膨胀成低压，然后在冷凝器中进一步放热凝结成液相；再由泵加压输入热交换器。这种系统较前一种稍简单，发动机的膨胀比也较稳定，因不需要气体压缩机和排液泵，故功率消耗小，但是动力装置不易快速安全启动，并需要较复杂的控制系统以保证其稳定工作。

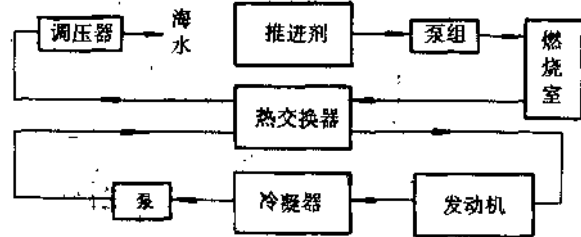


图 0-3

然后在冷凝器中进一步放热凝结成液相；再由泵加压输入热交换器。这种系统较前一种稍简单，发动机的膨胀比也较稳定，因不需要气体压缩机和排液泵，故功率消耗小，但是动力装置不易快速安全启动，并需要较复杂的控制系统以保证其稳定工作。

半闭式热力循环系统由于系统复杂，技术关键问题多，至今离实雷应用尚有较大距离。半闭式热力循环系统必须向雷外排放一部分物质，尽管发动机工作状态的变化在鱼雷航深改变时相对不大，但是系统各部件的工作难免要受航深改变的影响。闭式热力循环系统则相反，系统工作时不向雷外排放任何物质，故其工作状态与航行深度完全无关。

一种以金属锂为燃烧剂、六氟化硫为氧化剂、水蒸汽为发动机工质的闭式热力循环系统，已可供鱼雷实际应用。该系统在鱼雷中的布置和系统的工作原理分别如图 0-4 和 0-5 所示。因利用鱼雷中贮存的锂和六氟化硫的化学能为能源，故又称贮存化学能推进系统 (SCEPS)。

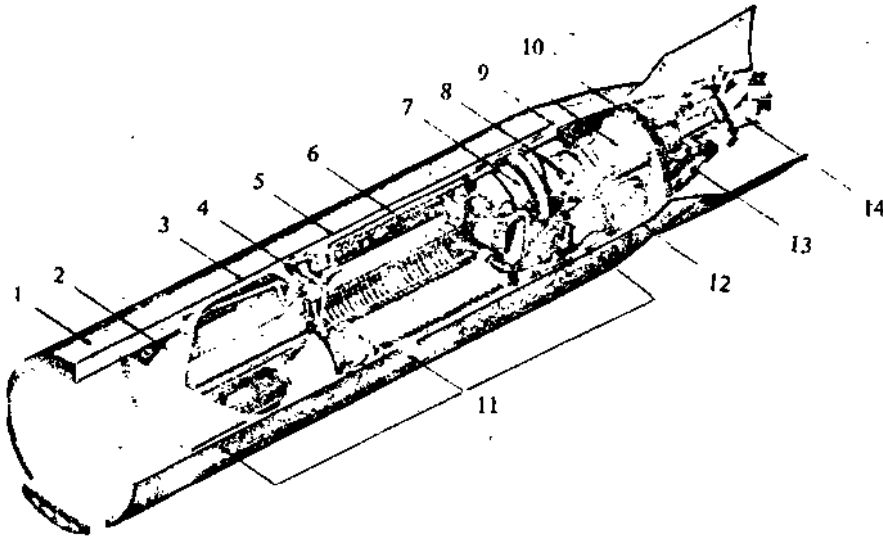


图 0-4

1—操纵和指令舱壳体；2—动力装置电子控制器；3—耐压氧化剂贮箱；4—氧化剂电动控制系统；5—高效率壳体冷凝器；6—锂燃料高能锅炉反应器；7—高效率冲动式超音速涡轮机；8—低噪声轻型齿轮箱；9—高速交流发电机；10—快速启动供水注射器；11—轻量化高强度壳体结构；12—发动机隔振支座；13—电动舵机；14—高效率低噪声泵喷射推进器。

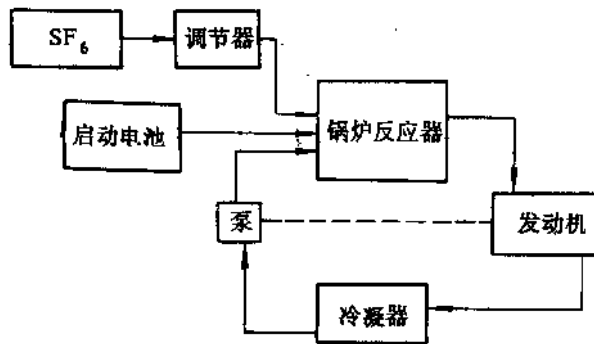
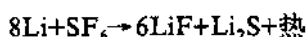


图 0-5

金属锂浇注在锅炉反应器中，在铸锂中均匀布排若干空腔，内装启动药柱。液态六氟化硫贮于氧化剂贮箱。系统启动时，启动电池点燃启动药柱，熔化金属锂，六氟化硫经控制器以气态流入锅炉反应器，与熔融锂反应。反应产物为氟化锂和硫化二锂，并释放大量的热，

使螺线管内的水加热和转变为过热蒸汽。过热蒸汽在发动机中做功，废气排入与雷壳制成一体的壳体冷凝器。在冷凝器中，废气经雷外海水冷却并凝结成水，然后由供水泵加压输入螺线管。

锂和六氟化硫的反应方程式如下：



推进剂能量密度很大，达 $3.4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{l}$ 和 $3.6\text{kW} \cdot \text{h}/\text{kg}$ 。反应产物的共熔点为 810°C ，其体积较参加反应的金属锂小 5%，故可存于锅炉反应器内不作排放。

由以上介绍可知，贮存化学能推进系统(SCEPS)实际是以锂和六氟化硫为燃料的闭式兰金循环系统。除此之外，国外还在研究使用其他燃料的同类系统，如使用与水起反应产生氢气的金属作燃烧剂，产生的氢气与鱼雷携带的氧化剂反应生成水蒸汽，作为发动机工质，蒸汽冷凝成水，经泵增压后再与金属燃烧剂发生化学反应。

热动力鱼雷航行时，动力装置向雷外排放的不溶于水的气态物质形成气泡航迹，从而影响鱼雷攻击的隐蔽性和突然性，敌舰也可能进行机动航行回避鱼雷攻击；因此要求鱼雷的无迹性好，尽可能减少气泡航迹。鱼雷的无迹性对潜用反舰鱼雷特别重要，因为鱼雷航迹不仅暴露鱼雷自身，而且还易暴露我发射艇的艇位，使我艇有可能遭到敌方反潜武器的袭击。

闭式热力循环系统不向雷外作任何排放，所以是完全无迹的。开式和半闭式热力循环系统可以通过选择无迹性好的推进剂，来减少鱼雷排气的气泡航迹，为此要求推进剂燃烧产物中具有可凝性和易溶性的成分多，如 H_2O 和 CO_2 等，而尽量减少不易溶于水的各种二原子气体。鱼雷用单组元液体推进剂奥托-Ⅱ，其主要成分是硝酸酯，化学式为 $\text{C}_{2.745}\text{H}_{5.248}\text{O}_{3.045}\text{N}_{0.929}$ 。由于氮气和氯化物的溶解度小，且该推进剂为贫氧，热分解产生较多的 CO 和 H_2 ，所以无迹性很差，热分解产物中不凝结和不溶于水的成分按体积计接近 90%。奥托-Ⅱ、高氯酸羟胺、水三组元推进剂，在三组元配比恰当的情况下，燃烧产物中不凝结和不溶于水的成分按体积计仅约 5%。其他如以酒精和过氧化氢为主要成分的推进剂，也可望具有良好的无迹性。

鱼雷动力推进装置的工作噪声也是整个装置的重要质量指标。噪声大的鱼雷易被攻击对象发现，而且噪声对鱼雷声自导装置的工作带来干扰和影响，降低鱼雷搜索和跟踪目标的能力。所以，要力求降低动力推进装置的工作噪声，除了对各部件进行精心设计、制造和装配外，还应采取有效的减振降噪措施。

此外，鱼雷动力推进装置还必须启动可靠并能迅速地达到全功率运转；具有适宜长期贮存和在海洋条件下工作的耐腐蚀性能；工作稳定，可靠性好；结构简单，便于制造、维修和使用。

二、对鱼雷热力发动机的基本要求及其分类

根据上节所述鱼雷动力推进装置的特点，一般地说，对鱼雷热力发动机的基本要求如下：

- (1) 在发出所需功率的前提下，发动机具有尽可能小的轮廓尺寸与重量；
- (2) 发动机能适应在规定范围内鱼雷航深变化的要求，而且推进剂的单位消耗率小；
- (3) 能可靠启动并迅速达到额定功率，工作稳定、可靠，振动和噪声小；
- (4) 结构简单，并具有足够的强度、刚度和良好的耐腐蚀性能。

鱼雷热力发动机的种类很多，除空气喷气发动机以外，几乎各种热机均曾为鱼雷所采用。空气喷气发动机的变型——喷水发动机在鱼雷上应用的问题，也受到重视和不断地研究。世界各国近代鱼雷所用的热力发动机大致有三类：活塞发动机、涡轮发动机和火箭发动机。新研制的热动力鱼雷，其发动机或为活塞发动机或为涡轮发动机，火箭发动机已被排除。

活塞发动机按其工作过程的不同，可分外燃、内外燃、内燃三种。鱼雷活塞发动机除个别型号外均是外燃发动机。推进剂在发动机气缸以外的燃烧室中进行燃烧并与燃气冷却剂混合，生成高温高压的蒸汽燃气混合气，作为发动机的工质，工质经发动机配气机构分配进入发动机气缸，在气缸中推动活塞而做功。发动机的功率传动机构将活塞往复运动转变成发动机主轴的旋转运动；从而驱动鱼雷推进器。气缸中膨胀做功后的废气，经由配气机构或排气孔道排出发动机。内外燃发动机工质的生成经过两次燃烧过程：在燃烧室中只喷入少量燃烧剂，使其在氧化剂很富裕的条件下燃烧，生成物的温度超过燃烧剂的燃点；然后，燃烧产物经发动机配气机构分配进入气缸，并在气缸中再次喷入燃烧剂进行自燃，从而使缸内工质在膨胀前具有更高的压强和温度，有利于提高发动机的功率和效率。至于鱼雷内燃机，其工作原理与一般内燃机相同；推进剂的燃烧过程完全在发动机气缸中进行。

内燃和内外燃发动机的经济性优于外燃发动机，但是它们的结构复杂，发动机启动和调节也较不便，而且在功率相同时其重量和尺寸常较外燃发动机大得多，所以在鱼雷上实际应用甚少。近代鱼雷活塞发动机无一例外均为外燃发动机。

鱼雷活塞发动机按其构造特点可分卧式发动机、星型发动机和筒形发动机。早期的鱼雷还曾使用过V型发动机和立式发动机。

鱼雷卧式活塞发动机是双缸结构的双作用发动机。在雷体中的下侧，并列布置左、右两个气缸。两气缸的中心线平行，且与包含鱼雷纵轴的水平面成不大的夹角，发动机输出轴的轴线则与鱼雷纵轴重合(参阅图0-6)。每个气缸有前后两个工作腔，且分别在不同时刻引入新鲜工质。工质在气缸的前、后工作腔中分别进行膨胀和做功，然后排出气缸。各气缸前、后腔的进排气由该气缸下侧的筒形滑阀机构控制。各缸前、后腔工质对活塞所做的功，通过各缸的曲柄连杆机构，驱动各自的曲轴旋转。卧式发动机左、右两缸曲轴转向相反，故可借助锥齿轮差动机构驱动发动机的内、外推进轴，以及分别安装于两推进轴上的前、后螺旋桨。

因为气缸中活塞前、后方两腔都是工作腔，活塞的前后两端面都受发动机工质的作用，故这种发动机称为双作用发动机。就发出的功率来看，双作用发动机的一个气缸相当于两个单作用气缸，故卧式双缸双作用发动机其功率相当于四缸单作用发动机。

星型活塞发动机各气缸的中心线呈放射形布置(参阅图0-7)。鱼雷星型活塞发动机有单排和双排之分，同一排各气缸中心线位于同一平面，且该平面垂直于与鱼雷纵轴相重合的发动机主轴中心线。鱼雷星型发动机常用的气缸排列有单排三缸、四缸，以及双排八缸、十二缸等结构。

星型发动机是单作用发动机，工质的工作空间位于活塞顶和气缸盖之间。由燃烧室来的蒸汽燃气混合气经配气机构在缸盖处进入气缸，工质对活塞做功并在其工作空间中进行膨胀。星型发动机配气机构的型式较多，气缸进气一般常用凸轮传动的提阀来控制，而排气则靠活塞往复运动自动启闭气缸壁上的排气孔，以及连杆摆动运动启闭活塞顶部的辅助排气道

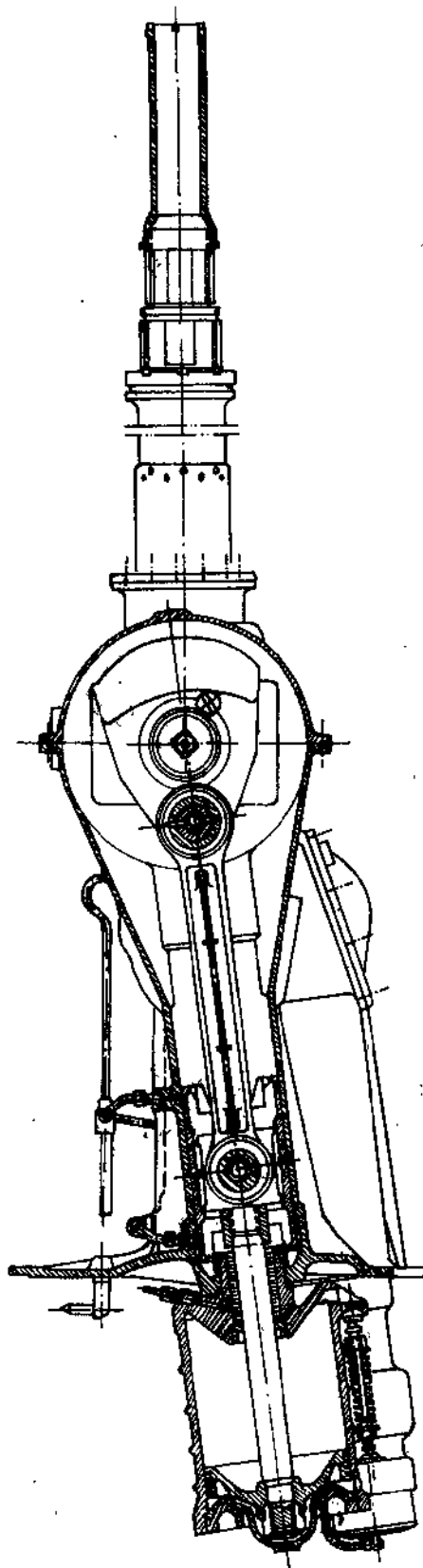


图 0-6

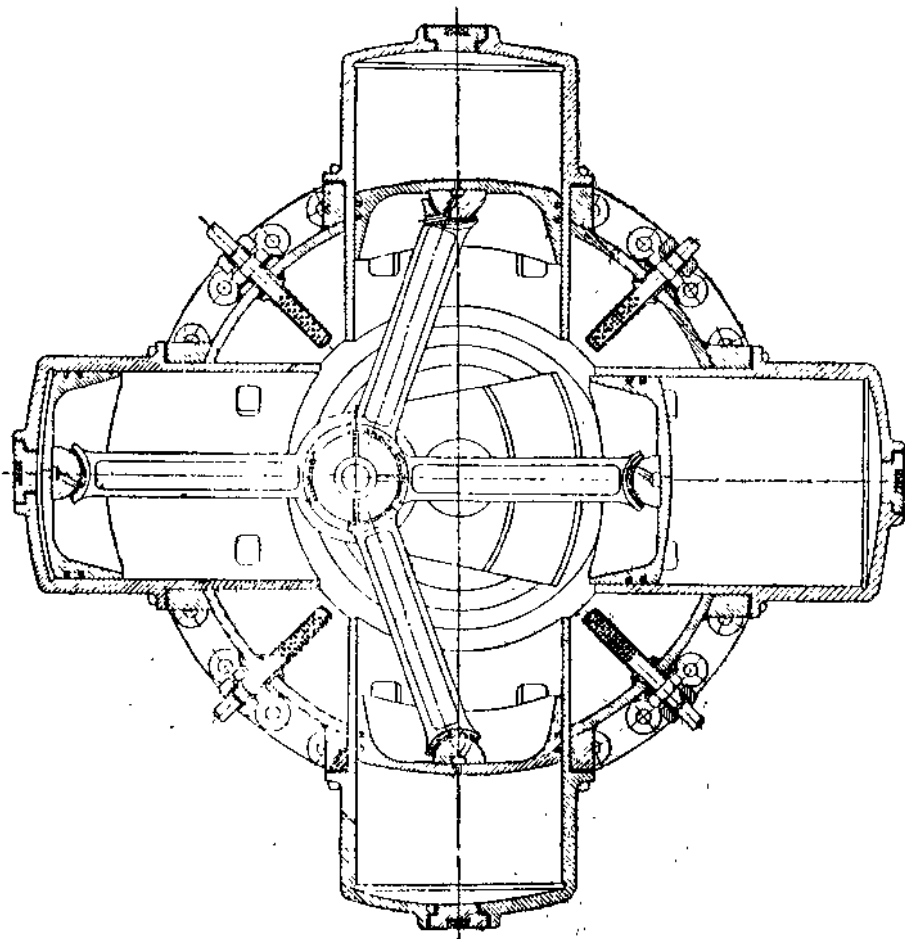
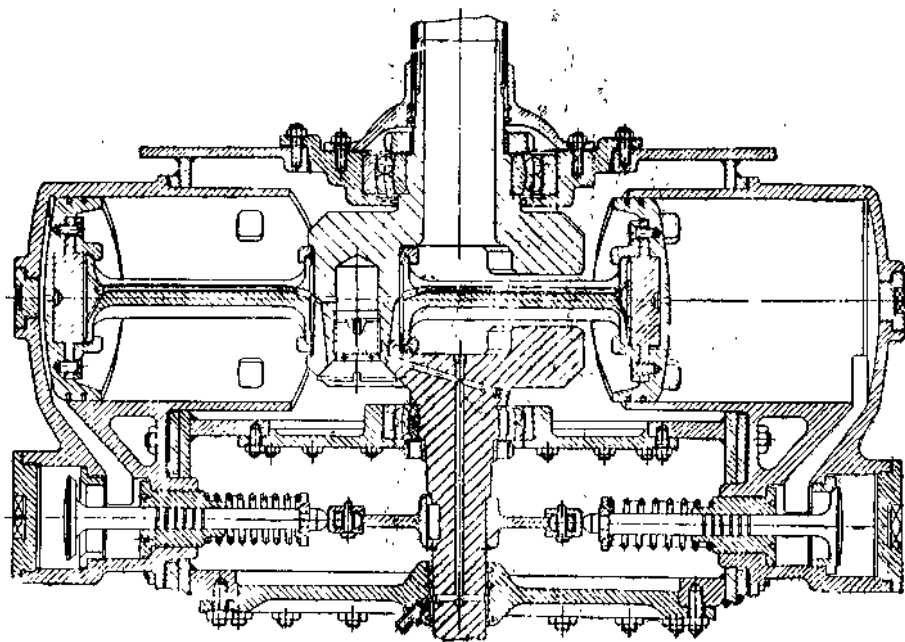


图 0-7



来实现。星型发动机的功率传动机构也是曲柄连杆机构，但发动机各气缸共用一根曲轴，曲轴通过传动轴和安装于雷尾的锥齿轮差动机构，驱动内、外螺旋桨轴，以及分别安装于两轴的前、后两个螺旋桨。

筒形活塞发动机各气缸的中心线围绕发动机输出轴轴线布置，故整机外形呈圆筒形。鱼雷筒形发动机常是单作用发动机，功率输出轴轴线与鱼雷纵轴重合，并用安装于发动机前端的转阀配气机构控制各气缸的进排气。转阀配气机构由发动机主轴传动。

筒形活塞发动机根据其功率传动机构的不同可分若干种，鱼雷上已实际应用的有凸轮式活塞发动机和周转斜盘活塞发动机。

五缸凸轮式活塞发动机如图 0-8 所示，功率传动机构是圆柱凸轮机构，活塞部件在工质压力作用下向后运动时，通过滚轮推动圆柱凸轮，从而驱动发动机内轴旋转。同时，圆柱凸轮对活塞部件的滚轮施以反作用力，使活塞部件对缸体产生侧压力，因而驱动缸体和发动机外轴转动。所以，凸轮式发动机可以作同心双轴反向旋转输出，并直接驱动安装在发动机内、外轴尾端的两个螺旋桨。图 0-8 中缸体外轴系统的前、后轴承未画出，发动机前部圆柱齿轮是供传动发电机和燃料泵、海水泵之用。

周转斜盘活塞发动机如图 0-9 所示，其功率传动机构是空间连杆机构。活塞在工质压力作用下向后运动时，通过球关节推动连杆，连杆又通过球关节驱动周转斜盘绕斜轴旋转。周转斜盘的转矩由锥齿轮行星机构传递到缸体，加上因活塞对缸壁侧压力所产生的转矩，组成外轴转矩以驱动缸体和外轴转动。周转斜盘对固连于内轴上的斜轴作用有力和力矩，作用的力矩在内轴轴线方向的分量即为内轴转矩，使内轴转动。因此，周转斜盘活塞发动机也可作同心双轴反向旋转输出，直接传动分别安装于内、外轴尾端的对转双螺旋桨。

由于锥齿轮机构的制造和装配难于保证高精度，故工作中振动和噪声大，因此鱼雷周转斜盘发动机倾向于用槽形凸轮滚轮机构来代替。这时，在周转斜盘外缘沿圆周均布若干个轴线为斜盘径向的圆柱滚轮，在发动机机体上沿圆周刻制与滚轮数相同的均布的槽形凸轮。发动机工作时滚轮在各自的槽形凸轮中滚动，既向机体传递斜盘转矩，又协调周转斜盘与缸体的运动，使它们保持正确的运动关系，从而可以完全代替锥齿轮行星机构。

无论是凸轮式发动机或是周转斜盘发动机，如果把缸体固定，就都可作单轴输出。此时作用于缸体的力矩，就是由发动机支承所承受的发动机反作用力矩。

筒形活塞发动机的外形与鱼雷壳体内部空间形状相同，因此易于在鱼雷中布置，并可较好地利用雷内空间，而且发动机的重量轻，工作时振动和噪声小。因此，在鱼雷工程上它已逐步取代卧式和星型活塞发动机。

从本世纪初起，鱼雷涡轮发动机与活塞发动机几乎平行地得到发展。由于鱼雷自身携带燃烧剂和氧化剂，故易于获得高压强的发动机工质，但又受限于推进剂的贮备量，推进剂秒耗量却很小。所以鱼雷涡轮发动机区别于其他用途涡轮机的特点是：工质的理想可用焓降 (J/kg) 很大，而质量流量 (kg/s) 很小，此外，在发动机重量和尺寸上有很严格的限制。正因为如此，鱼雷涡轮发动机都是采用短叶片部分进气轴流式超音速冲动涡轮。单级冲动式涡轮机(图 0-10)和复速级冲动式涡轮机(图 0-11, 0-12)都曾成功地应用于鱼雷，重入式冲动涡轮的应用也曾进行了大量的研究和试验工作。

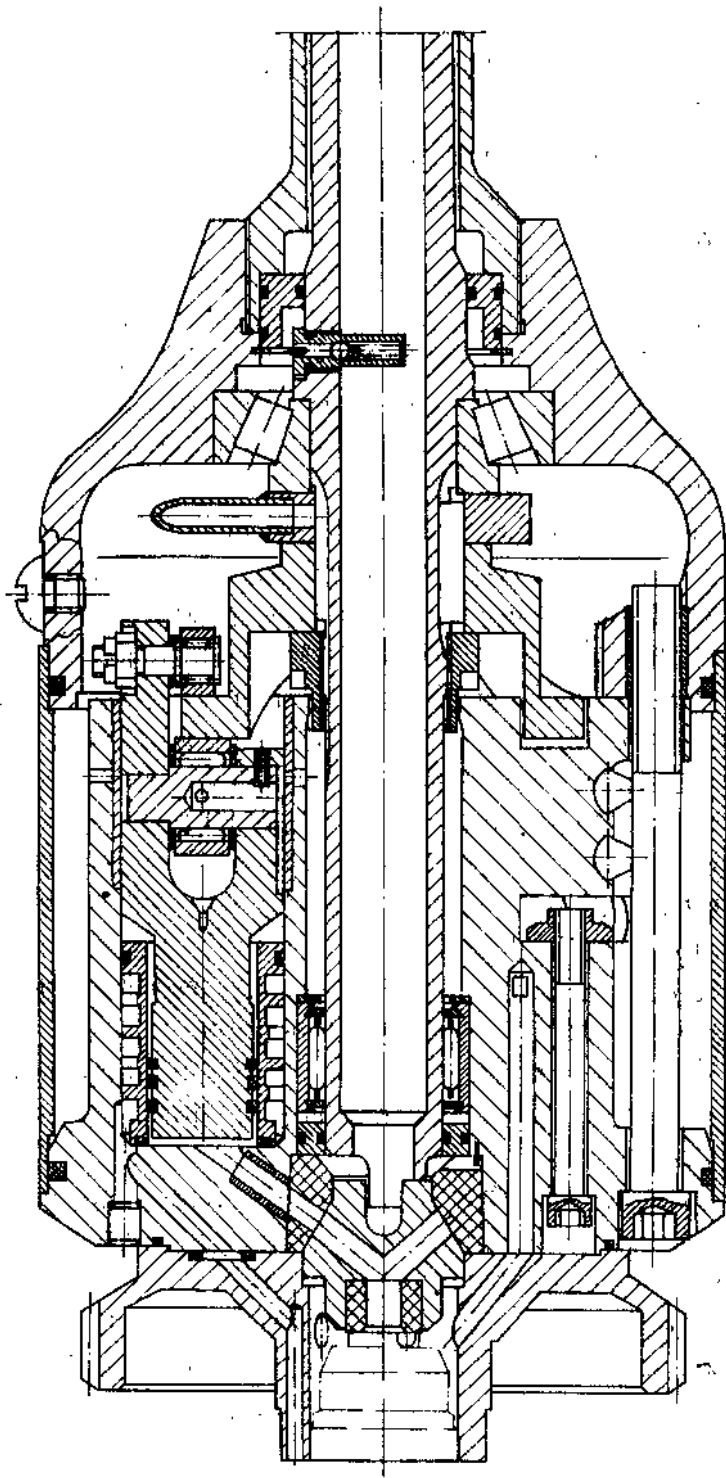


图 0-8